

УДК 621.735.016.2 : 620.175.001

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ ИСПЫТАНИЯМИ НА КРУЧЕНИЕ

© 2014 г. **Б.А. Кривицкий, К.С. Арсентьева**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ)

Статья поступила в редакцию 17.05.13 г., доработана 23.07.13 г., подписана в печать 20.06.14 г.

Качество результатов математического моделирования процессов обработки металлов давлением (ОМД) существенно зависит от точности исходных данных, к числу которых относятся реологические свойства материала заготовки. Традиционная методика их определения основана на допущении, что температура образца в процессе испытания сохраняется постоянной. Вместе с тем известно, что при изотермических условиях нагружения имеет место деформационный разогрев образца. Современные пластометры не предусматривают контроль температуры образца в ходе испытания, что вносит существенную погрешность при расчете сопротивления деформации и, соответственно, температурных полей и энергосиловых параметров процессов ОМД. В связи с этим в настоящей работе приводятся методика и результаты экспериментального исследования тепловыделения в образцах из титанового сплава VT-6 при кручении на лабораторном торсионном пластометре в интервале температур 800–1000 °С при скоростях деформации 0,01–10,0 с⁻¹ (1–600 об/мин). В процессе испытаний температуру поверхности образцов контролировали фотопирометром. Установлено, что при относительно больших скоростях нагружения имеет место существенный разогрев поверхности образца, который, например, при скорости испытания порядка 10 с⁻¹ и начальной температуре 850 °С к моменту разрушения может достичь 50–60 °С. При этом погрешность в определении сопротивления деформации составляет около 30 %.

Ключевые слова: испытания кручением, реологические свойства, деформационный разогрев, математическое моделирование, обработка давлением.

The quality of results of mathematical modeling the pressure treatment of metals (PTM) substantially depends on the exactness of the initial data, which include the rheological properties of the billet material. The traditional procedure of their testing is based on the assumption that the sample temperature remains constant during testing. However, it is known that strain sample heating occurs during isothermal loading. Modern plastometers do not foresee monitoring the sample temperature during testing, which introduces the substantial error when calculating the deformation resistances and, correspondingly, temperature fields and energy-power parameters of PTM processes. In connection with this, the procedure and results of the experimental investigation into the heat liberation in the samples made of the VT-6 titanium alloy under torsion using a laboratory torsion plastometer in a temperature range of 800–1000 °C at deformation rates of 0,01–10,0 s⁻¹ (1–600 rpm) are presented in this article. The temperature of the sample surface was monitored using a photopyrometer during testing. It is established that the sample surface substantially heats at relatively high loading rates, and the temperature increment to the destroy instant can reach 50–60 °C at the testing rate of the order of 10 s⁻¹ and initial temperature of 850 °C. The error in determining the strain resistance is of the order of 30 %.

Keywords: torsion testing, rheological properties, strain heating, mathematical modeling, pressure processing.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время математическое моделирование широко применяется практически во всех областях науки и техники, в том числе при исследовании и разработке процессов обработки металлов давлением (ОМД) [1, 2]. Качество результатов моделирования существенно зависит от точности исходных данных.

Для горячих процессов ОМД это в первую очередь теплофизические и реологические свойства деформируемого материала. Методика определения теплофизических характеристик регламентирована стандартами. Для оценки реологических параметров до настоящего времени нет общеприня-

Кривицкий Б.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и технология обработки металлов давлением» СПбГПУ (195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29). E-mail: kba45@mail.ru.

Арсентьева К.С. – аспирант той же кафедры. E-mail: xenia.ars@gmail.com.

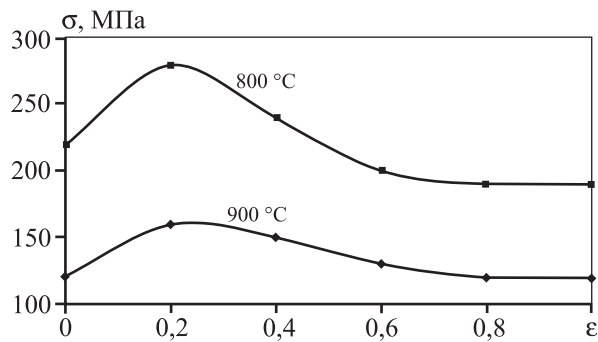


Рис. 1. Кривые текучести для титанового сплава ВТ-6, полученные по традиционной методике [6]

тых методик и, тем более, стандартов, поэтому базы данных программ по реологическим свойствам материалов часто формируются на основе литературных источников.

Таким образом, адекватность расчетных моделей реальным процессам ОМД в большой степени зависит от того, насколько корректно определены реологические свойства материала. Для их оценки используют специальное оборудование — пластометры, на которых можно производить различные виды испытаний — сжатие, растяжение, кручение [3—5]. Согласно традиционной методике [6], при определении реологических свойств принято считать, что температура образца в ходе эксперимента остается постоянной и равной ее начальному значению (рис. 1). Вместе с тем известно [7], что в изотермических условиях испытаний имеет место разогрев образца и, соответственно, уменьшение сопротивления деформации по сравнению с исходным. Очевидно, кривые текучести отражают данные факты. Однако при интерпретации полученных результатов это обстоятельство обычно не учитывают. Поэтому значения сопротивления деформации оказываются завышенными, а при моделировании процессов ОМД разогрев материала учитывается дважды.

Таким образом, в результаты моделирования вносится ошибка, величина которой зависит главным образом от материала и температурно-скоростных условий нагружения.

Например, при увеличении температуры титанового сплава типа ВТ6 всего на 50 °C (с 900 до 950 °C) его сопротивление деформации уменьшается с 260 до 180 МПа, т.е. почти на 30 % [6]. Если при определении реологических свойств не учитывать это обстоятельство, то в результаты расчета всех термодинамических и энергосиловых параметров исследуемого процесса вносится существенная ошибка.

Данная проблема особенно актуальна при моделировании высокоскоростных процессов ОМД, таких, как прессование, ковка, штамповка на молотах и др., а также при горячей пластической обработке материалов, испытывающих полиморфные и динамические структурные превращения, так как в этих случаях моделирование является эффективным инструментом прогнозирования качества поковок [8—10].

Цель настоящей работы состояла в экспериментальной оценке тепловыделения в ходе высокотемпературных испытаний кручением и разработке рекомендаций по совершенствованию методики определения реологических свойств деформируемого материала.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве испытания было выбрано кручение, как удовлетворяющее в наибольшей степени задаче исследования. При этом виде деформации имеется возможность одновременно фиксировать на поверхности образца в режиме реального времени все три



Рис. 2. Внешний вид лабораторного торсионного пластометра

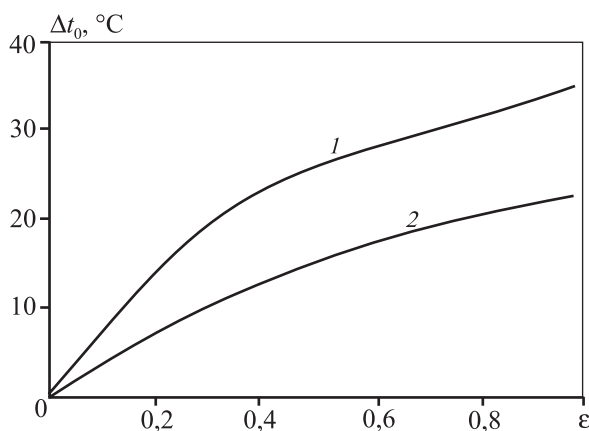


Рис. 3. Зависимость приращения температуры поверхности образца от степени деформации при начальной температуре 850 °C (1) и 900 °C (2)

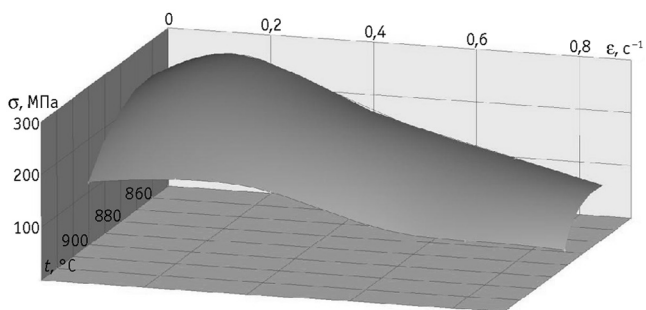


Рис. 4. Зависимость сопротивления деформации от степени деформации и фактического значения температуры образца при $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ с}^{-1}$

основных параметра, контролирующих текущее значение сопротивления деформации, — степень, скорость деформации и температуру.

Испытания проводили на лабораторном торсионном пластометре, оснащённом печью сопротивления, электронным фотопирометром с дисплеем, имеющим токовый выход для записи сигнала, и тензометрической системой замера крутящего момента (рис. 2). Температуру процесса изменяли в пределах $t = 850 \div 1000 \text{ °C}$, а скорость деформации $\dot{\epsilon} = 0,01 \div 10 \text{ с}^{-1}$ (1—600 об/мин).

Образец из титанового сплава типа ВТ-6 с размерами рабочей части $8 \times 25 \text{ мм}$ нагревали в печи до заданной температуры, которую контролировали тщательно протарированной контактной термопарой. При этом регулировкой пирометра, установленного с противоположной стороны печи, добивались совпадения показаний температуры на его дисплее и термопаре.

После выдержки 15 мин образец закручивали до разрушения. При этом на компьютере велась запись диаграммы «момент—угол закручивания» и одновременно фиксировалась температура с поверхности образца с токового выхода пирометра. При относительно высоких скоростях нагружения вследствие инертности пирометра температуру разогрева определяли по данным на дисплее только в момент разрушения образца.

Следует отметить, что при относительно высоких температурах процесс кручения сопровождается локализацией деформации, в месте которой резко увеличиваются ее степень и скорость. Поэтому важно, чтобы «активное пятно» пирометра ($\sim 3 \text{ мм}$) не совпало с этой областью, где температура может быть в 2—3 раза больше, чем в зоне равномерной деформации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Полученные результаты испытаний на кручение титанового образца при $t_0 = 850$ и 900 °C и скорости деформации $\dot{\epsilon} = 0,5 \text{ с}^{-1}$ (20 об/мин) показаны на рис. 3 в координатах $\epsilon - \Delta t_0$ (ϵ — степень деформации на поверхности образца, Δt_0 — абсолютная величина приращения температуры (разогрев) на ней по сравнению с начальной t_0). Видно, что при относительно небольшой скорости деформации ($0,5 \text{ с}^{-1}$) и указанных температурах разогрев образца к моменту локализации ($\epsilon \sim 0,7$) составил соответственно 32 и 20 °C , а при $t_0 = 950 \text{ °C}$ — порядка 10 °C (на рис. 3 не показано).

При $\dot{\epsilon} = 10 \text{ с}^{-1}$ (600 об/мин) величина $\Delta t_0 = 60$ и 48 °C к моменту разрушения образца при начальных температурах 850 и 900 °C соответственно. По предварительным данным, при скорости деформации $\sim 50 \text{ с}^{-1}$ разогрев образца достигал $80 - 100 \text{ °C}$.

Анализ результатов показывает, что в ходе высокотемпературных испытаний кручением происходит непрерывное повышение температуры образца, максимальное значение которой (для исследуемого материала) зависит от начальной ее величины, степени и скорости деформации.

Следует отметить, что полученные по разогреву данные соответствуют относительно небольшим степеням равномерной деформации, достигаемым при кручении. Если их экстраполировать в область более высоких значений ϵ , которые имеют место в реальных процессах ОМД, например при прес-

совании, то величина разогрева будет значительно больше.

Результаты испытаний можно интерпретировать, например, в виде поверхности текучести, где одна из осей (t) отражает фактическую температуру образца (рис. 4).

ВЫВОДЫ

1. При относительно высоких скоростях нагружения, свойственных большинству процессов ОМД, пластометрические испытания материалов сопровождаются существенным их разогревом, что необходимо учитывать при определении реологических свойств металлов.

2. Традиционная методика пластометрических испытаний не предусматривает контроль фактической температуры исследуемого образца и дает заниженные значения сопротивления деформации.

3. Одним из направлений совершенствования методики определения реологических параметров является оснащение испытательных машин (пластометров) устройствами для автоматической записи текущего значения температуры материала в ходе испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гун Г.Я., Полухин П.И. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1993.
2. Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: Справ. изд. / Пер. с нем. М.: Металлургия, 1982.
3. Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение. М.: Металлургия, 1977.
4. Выдрин В.Н., Смолин А.П., Крайнов В.И. // Сталь. 1980. № 12. С. 108—110.
5. Shirohama H. // J. Iron and Steel Inst. Japan. 1988. Vol. 13, № 3. P. 503—590.
6. Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации: Справочник. М.: Металлургия, 1983.
7. Фиглин С.З., Бойцов В.В., Калпин Ю.Г., Каплин Ю.И. Изотермическое деформирование металлов. М.: Машиностроение, 1978.
8. Ushkov S.S., Rrivitski B.A., Rasuvaeva I.N. // Sci. Technol. 1992. Vol. 1. P.683—688.
9. Кривицкий Б.А. // Кузн.-штамп. пр-во. ОМД. 1998. № 4. С. 10—14.
10. Солиенко А.О. // Там же. 2010. № 3. С. 32—43.

Издательский дом МИСиС представляет:

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебно-методический комплекс дисциплины

Авторы: А.М. Глезер, Е.А. Левашов, М.Ю. Королева

М.: ИД МИСиС, 2011. — 176 с. ISBN 978-5-87623-522-0

Дисциплина «Конструкционные наноматериалы» включает описание основных видов конструкционных наноматериалов и их механических свойств, а также методов их получения и применения. Направленность дисциплины — частично теоретическая, частично практико-ориентированная. Учебно-методический комплекс этой дисциплины предназначен для методического обеспечения подготовки бакалавров по программам ВПО для тематического направления национальной нанотехнологической сети «Конструкционные наноматериалы». Он разработан докт. физ.-мат. наук, чл.-кор. РАЕН, проф. А.М. Глезером, докт. техн. наук, акад. РАЕН, проф. Е.А. Левашовым, канд. хим. наук, доцентом М.Ю. Королевой в рамках реализации Федеральной целевой программы «Развитие инфраструктуры nanoиндустрии в Российской Федерации на 2008—2011 гг. (направление 2 «Развитие информационно-аналитической составляющей инфраструктуры nanoиндустрии», мероприятие 2.3 «Формирование кадровой информационно-аналитической системы nanoиндустрии»).

Координаты ИД МИСиС:

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский пр-т, 4. **Тел.:** (495) 638-45-31, 638-44-28, 784-58-66. **E-mail:** izdatmisis@mail.ru.